

С.П.БУРКИН, Ю.Н.ЛОГИНОВ, В.В.ШИМОВ

(Уральский государственный технический университет)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА РАБОЧИХ ВАЛКОВ ЧИСТОВЫХ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ПРОКАТНЫХ БЛОКОВ

В разработке концепции строительства мини-металлургических производств определяющим следует считать экономический аспект. Малотоннажное производство металлопродукции оправдано только при широком сортаменте, например катаных профилей, быстрой переналадке оборудования при переходах от одного типоразмера изделия к другому и экономии энергии на всех переделах как производства заготовки, так и ее пластической обработки. Применение непрерывных технологических процессов от выплавки металлов и сплавов до конечного формообразования металлоизделия позволяет избежать многократных нагревов передельных заготовок и эффективно использовать тепло плавильного передела для горячей обработки.

При прокатке конфигурация плавильно-литейно-прокатного модуля не должна допускать тяжелых обжимных клетей, пригодных только в крупнотоннажных производствах. Обжимные группы прокатных клетей заменяются проходными ковочными блоками, которые легко адаптируются к агрегатам прямого совмещения непрерывной разливки и деформационной обработки. Скорость разливки металла не является определяющим параметром при прямом совмещении

агрегатов. Ковочные блоки позволяют в автоматическом режиме перенастраиваться на широкий диапазон размеров сечения передельной заготовки. Малая длительность контакта металла с инструментом позволяет сохранять тепло, а благоприятная схема напряженного состояния при ковке гарантирует бездефектную заготовку для последующей, возможно отделочной прокатки. Управление частотой хода бойков и количеством участвующих в обработке секций ковочного блока решает проблему регулирования температурно-скоростного режима.

В производстве горячекатаных сортовых профилей из непрерывнолитой заготовки на литейно-прокатных модулях целесообразно применение чистовых непрерывных прокатных блоков. Заготовка необходимого качества для непрерывного блока формируется проходной ковкой и без дополнительного подогрева через петлевое устройство подается на прокатку.

Если при проектировании прокатного блока для непрерывного литейно-деформационного модуля ставится цель расширить сортамент профилей, в первую очередь внимание должно быть уделено универсальности и переналаживаемости блока. Применяемые в последнее время чистовые прокатные блоки, входящие чаще всего в состав проволочных станков, не отвечают этим задачам. Они создаются с целью обеспечения высокой производительности проволочного стана и рассчитаны на прокатку с высокой скоростью. Высокоскоростная прокатка предъявляет специфические требования к конструкции блока, не совместимые с универсальностью и быстрой переналаживаемостью. Групповой привод и фиксированная схема чередования клетей практически закрепляют за прокатным блоком единственную схему калибровки и постоянный режим обжатий. Когда чистовой непрерывный прокатный блок создается под схему калибровки овал-круг, то эта схема применяется для любых марок сталей и сплавов вне зависимости от пластичности металла и требований к готовой продукции. Например, катанка из низкоуглеродистой стали успешно прокатывается по многим другим схемам, обладающим значительно более высокой вытяжной способностью. Применение чистового блока с калибровкой овал-круг для прокатки этих сталей приведет к увеличению числа проходов и перерасходу энергии и материалов.

Установка индивидуального управляемого электропривода на чистовые блоки влечет за собой существенное усложнение конструкции и эксплуатации оборудования. Тиристорные преобразователи дорога, громоздки и в то же время не позволяют обеспечить качественное скоростное согласование клетей из-за сравнительно мягких механических характеристик электродвигателей постоянного тока. Частотное управление электроприводами переменного тока еще не нашло широкого применения в прокатном производстве.

Проблема адаптации чистовых прокатных блоков с фиксированной схемой чередования клетей к системам калибровки с высокой вытяжной способностью (шестиугольник-квадрат, овал-квадрат) всегда связана либо с существенным вмешательством в конструкцию оборудования, либо с необходимостью установки кантующих проволочек. Однако последнее несовместимо с особенностями высокоскоростной прокатки.

Для решения перечисленных проблем при проектировании чистовых прокатных блоков, входящих в состав литейно-деформационных модулей, представляет интерес практика использования гидропривода прокатных валков. В Уральском государственном техническом университете при выполнении ряда проектов государственных научно-технических программ и заказов накоплен определенный опыт проектирования и изготовления прокатных клетей как сортовой, так и плоской прокатки с индивидуальным приводом валков от серийно выпускаемых гидромоторов.

Гидропривод прокатных валков ранее уже нашел промышленное применение в клетях для производства гнутых профилей проката.

Обобщая опыт использования гидромоторов сравнительно небольшой мощности (до 60 кВт) для сортовой и плоской прокатки, уже можно сформулировать технологические задачи, успешно разрешаемые за счет особенностей этого типа привода:

- значительное снижение массы оборудования и потребных для размещения прокатных станков производственных площадей;

- простота и дешевизна систем управления скоростным режимом прокатки;

- простота конструктивного исполнения непрерывных прокатных и калибровочных блоков с индивидуальным приводом клетей;

- возможность построения чистовых прокатных блоков с переменным и произвольным чередованием клетей; реализация на этих блоках любого режима кантовки и широкой гаммы систем калибровок;

- устранение из главной линии привода шестеренной клетки;

возможность управления в широком диапазоне режимом прокатки с рассогласованием окружных скоростей валков;

обеспечение режима автонастройки прокатной клетки при необходимости устранения рассогласования скоростей валков.

Известны нарушения нормального режима прокатки, связанные с несовершенством конструкций шестеренных клеток и других элементов главной линии привода. Громоздкий электромеханический привод не допускает однокорпусного исполнения прокатной клетки.

На электродвигатель, редуктор, шестеренную клетку и шпиндели приходится до 60-80 % массы прокатного стана и до 70-90 % занимаемой производственной площади.

Окружной люфт рабочих валков практически при любой конструкции шестеренной клетки и шпинделей находится в пределах от 0,3 до 8°. Мероприятия, направленные на снижение люфтов в линии привода валков, удорожают оборудование и затрудняют его эксплуатацию.

При периодической прокатке окружной люфт валков служит причиной несанкционированного рассогласования скоростей валков в момент входа полосы и нерегулярного изгиба переднего конца заготовки, что ужесточает требования к конструкциям рольгангов и проводковых устройств. Если не вводить специальные механизмы компенсации люфтов перед задачей полосы, то практически каждый проход выполняется с одним ведущим и одним холостым валками. Известно, что любая асимметрия очага деформации при прокатке (особенно плоской) сопровождается перерасходом энергии и неравномерностью нагрузки в линиях привода валков. В связи с этим растет количество поломок элементов привода и снижается надежность прокатного передела.

В настоящее время только тяжелые заготовительные станы снабжаются индивидуальным электроприводом валков, поскольку ранее используемые на этих станах шестеренные клетки способствовали частому разрушению рольгангов подачи заготовки в клетку при последовательной реверсивной прокатке.

При установке индивидуальных гидроприводов прокатных валков возможны три варианта их подключения к питанию от насосной станции: посредством независимых управляемых гидролиний, через общие напорные и сливные коллекторы, через делители и сумматоры потоков.

В первом случае (рис.1, а) возможна прокатка как с рассогласованием скоростей валков, так и симметричная прокатка. Регуляторы расхода РР, устанавливаемые либо в напорных, либо в сливных линиях гидромоторов ГМ, с достаточной для прокатки точностью поддерживают заданную скорость валков даже при значительном отклонении момента прокатки от номинального значения. Если РР1 и РР2 настроены на одинаковый расход жидкости, то осуществляется согласованная по окружной скорости валков прокатка. Предписанный режим рассогласования вводится соответствующей настройкой регуляторов, причем коэффициент рассогласования равен установленному соотношению расходов рабочей жидкости.

В случае подачи рабочей жидкости к гидромоторам привода валков через коллектор (рис.1, б) расходы жидкости в линиях распределяются пропорционально гидросопротивлениям. При работе клетки на холостом ходу возможно вращение только одного валка, если моменты холостого хода элементов привода существенно различны. Это ухудшает условие захвата полосы валками. Однако в стационарном режиме прокатки скорости валков выравниваются, и прокатка в большинстве случаев симметрична. Чаще всего подвод жидкости высокого давления через коллектор без специальной регулирующей аппаратуры автоматически устраняет асимметрию режима прокатки и минимизирует ее мощность.

Из практики прокатного производства известно много причин асимметрии очага деформации: различная шероховатость рабочих поверхностей валков, неравномерность подачи смазки, градиент температуры по высоте полосы, неравномерность механических свойств металла по толщине полос. Любая асимметрия в первую очередь проявляется изгибом заготовки на выходе из валков. По данным А.П.Чекмарева и А.А.Нефедова, основным фактором, определяющим характер изгиба полосы, является величина высотной деформации. Кроме распределения деформации по высоте очага деформации на изгиб влияют условия трения.

В работах В.П.Грудева показано, что при прокатке относительно высоких полос выходящий конец изгибается в сторону гладкого валка, что объясняется асимметричным действием сил трения на контакте. Обжатие со стороны шероховатого валка становится больше среднего, и скорость выхода металла около этого валка выше, чем у гладкого. В то же время, по данным исследований В.А.Николаева, В.Н.Скорородова и В.П.Полухина, крутящий момент всегда выше на валке с большим коэффициентом трения. Таким образом, для выравнивания полосы на выходе из валков в случае асимметрии контактного трения необходимо уменьшить скорость шероховатого или недостаточно смазанного валка. С этой задачей успешно справляется неуп-

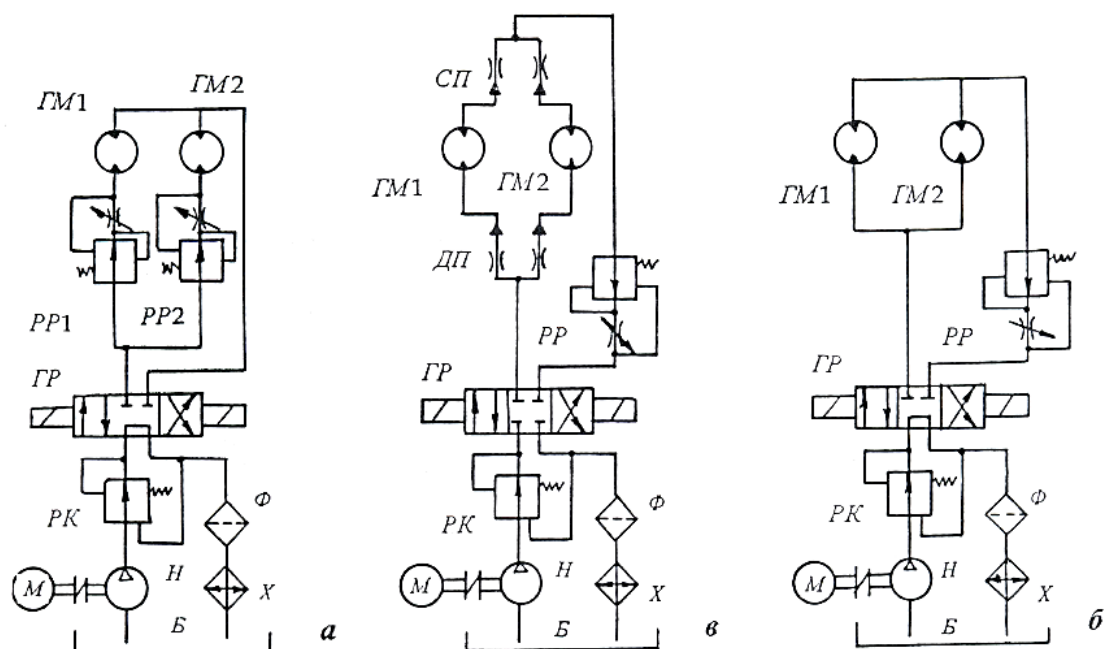


Рис.1. Варианты подключения питания гидропривода прокатной клетки:
 М — электромотор; Б — масляный бак; Р — насос; Ф — фильтр; Х — охладитель; РК — редукционный клапан; ГР — гидрораспределитель; РР — редуктор расхода; ДП — делитель потока; СП — сумматор потоков; ГМ — гидромотор

руляемый гидропривод валков клетки. При возрастании момента прокатки на одном из валков увеличивается соответственно гидросопротивление в линии подачи гидромотора этого валка. Происходит перераспределение потоков рабочей жидкости; валок с большим моментом тормозится, а другой ускоряется. Таким образом осуществляется самовыравнивание полосы и устранение асимметрии. Потребляемая мощность после перераспределения потоков минимальна и равна мощности эквивалентной симметричной прокатки.

Симметричный выход полосы из валков обеспечивается саморегулированием потоков рабочей жидкости и в случае несимметричного входа полосы в валки. Например, если при прокатке высокой полосы последняя при входе отклонена в сторону нижнего валка, то на этом валке увеличивается обжатие и момент прокатки, что приводит к отклонению полосы вверх на выходе из клетки. Гидросопротивление в напорной линии гидромотора привода нижнего валка возрастает и скорость снижается. Гидросистема реализует прокатку с минимальной мощностью и способствует симметричному выходу полосы из валков.

Опытно-промышленная клеть сортовой прокатки с индивидуальным гидроприводом валков и с подачей рабочей жидкости к гидромоторам от общего коллектора без использования регулирующей гидроаппаратуры в соответствии с рис.1, б изготовлена на опытном заводе АО "Белый соболь" (г.Заречный, Свердловская обл.). Двухвалковая клеть 200 снабжена четырьмя гидромоторами по 30 кВт каждый. Для привода каждого валка установлено по два параллельно соединенных гидромотора с рабочим объемом 56 см³. Диапазон непрерывного регулирования частоты вращения валков регулятором расхода составляет от 200 до 1500 об/мин. Клеть оснащается как гладкими, так и калиброванными валками. Опытная прокатка на этой клетке подтверждает описанные свойства гидропривода с неуправляемой подачей рабочей жидкости к гидромоторам привода валков.

Третий вариант подключения гидромоторов к системе питания жидкостью высокого давления характеризуется применением делителей и сумматоров потоков (рис.1, в). В системе привода валков прокатной клетки делитель (сумматор) потоков выполняет роль шестеренной клетки, поскольку с помощью многониточных делителей рабочая жидкость подается постоянными и

независимыми от нагрузки потоками к независимым приводам. В отличие от шестеренной клетки делитель потока устраняет окружные люфты валков и позволяет вводить практически любые скоростные рассогласования окружных скоростей валков за счет соответствующей переналадки делителей (установкой подобранных дроссельных шайб).

Современные серийно выпускаемые делители в состоянии поддерживать потоки рабочей жидкости с точностью 0,5 % при значительных (до 30 %) отклонениях момента прокатки от номинального значения.

Делители потока применены при создании двух промышленных прокатных клетей: клетки дуо 150 плоской прокатки, созданной в УГТУ по заказу АО "Уральские самоцветы"; четырехвалковой калибровочной клетки, эксплуатируемой на участке производства железнодорожных костылей АО "Уральский завод металлоконструкций" (г. Екатеринбург).

Двухвалковая клеть дуо 150 конструкции УГТУ снабжена гидромеханическим раздельным приводом валков. Мощность гидромотора аксиально-плунжерного типа составляет 30 кВт. Передаточное число редукторов 16. Межвалковый зазор регулируется в диапазоне от 0 до 20 мм с помощью поворота эксцентриковых втулок в подушках корпуса клетки. Неразъемный корпус обеспечивает повышенную жесткость клетки. Скорость прокатки настраивается регулятором расхода.

Исследование работы клетки в широком диапазоне толщин полосы показало высокую стабильность прокатки. Если не используются специальные средства для ввода асимметрии при плоской прокатке, то полоса во всех случаях выходит из валков без отклонения. Этого не удавалось добиться на других подобных лабораторных станах плоской прокатки, снабженных традиционным электромеханическим приводом.

Четырехвалковая калибровочная клеть снабжена коническими валками, образующими квадратный калибр (рис.2). Использование таких валков позволяет регулировать размер четырехвалкового калибра осевым смещением валков. В то же время конические валки имеют еще одну немаловажную особенность, которая позволяет способ прокатки на конических валках рассматривать как перспективный. Вследствие поперечной разности окружных скоростей валков к очагу деформации прикладываются дополнительные сдвиговые напряжения, снижающие контактные давления и полное давление металла на валки. Однако под действием дополнительных напряжений сдвига возможно осевое скручивание профиля, которое следует учитывать при проектировании технологического процесса калибровки.

Каждый валок через цилиндрический редуктор приводится гидромотором мощностью 30 кВт. В линии подачи рабочей жидкости давлением до 20 МПа применен один делитель потока, причем смежные валки приводятся от двух последовательно присоединенных гидромоторов. Такая схема включения экономит гидроаппаратуру (один делитель вместо трех) и обеспечивает удовлетворительный захват полосы при входе в калибр. Приводы калибровочной клетки под-

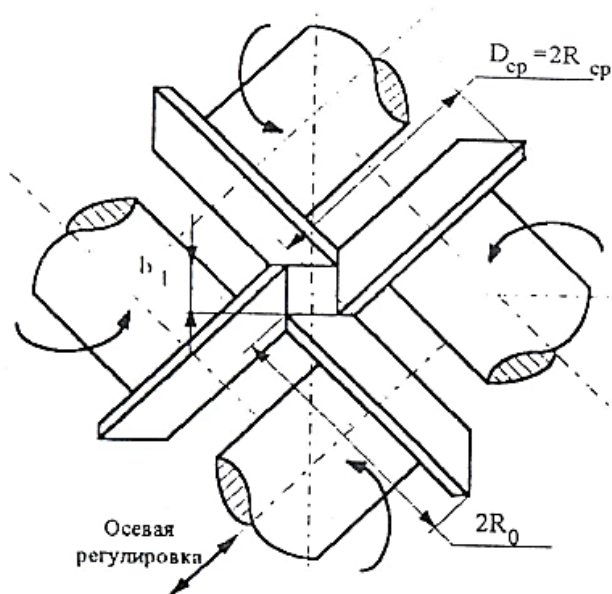


Рис.2. Схема валкового узла четырехвалковой калибровочной клетки

ключены к центральной насосной станции, обеспечивающей практически неограниченный расход рабочей жидкости. Поэтому механическая характеристика имеет высокую жесткость, и изменение момента прокатки при калибровке практически не влияет на скорость прокатки, что дает возможность встраивать клеть в непрерывную линию подачи заготовки к штамповочному блоку.

Калибровке в такой клетке подвергается прутки квадратного поперечного сечения со стороной 17 мм из Ст4 (ГОСТ 380-88) в холодном или теплом состоянии без смазки. Симметрия процесса прокатки при такой калибровке устойчиво сохраняется, что обеспечивает высокую стойкость проводок клетки.

Представляют интерес конструктивные решения объединения описанных клетей с гидроприводом валков в непрерывные прокатные блоки. Один из таких блоков, выполняющий роль чистового прокатного

блока в составе плавно-литейно-ковочно-прокатного модуля, спроектирован для производственной базы ТОО "Гамма" (г.Екатеринбург).

Блок включает десять последовательно установленных двухвалковых клетей, а также дополнительно три калибровочных клетки. Между непрерывными группами прокатных и калибровочных клетей предусматривается петлевое устройство.

Прокатный блок, поскольку он входит в состав литейно-деформационного модуля со сравнительно низкой производительностью (до 20 тыс.т/год), предусматривает прокатку широкого сортамента стальных профилей и быструю переналадку при переходе с одного профиля на другой. Основным сортом профилей, на который рассчитан блок приведен в таблице.

Особенность проектирования калибровок для прокатного блока в составе литейно-прокатного модуля состоит в учете предписанного скоростного режима, задаваемого скоростью непрерывной разливки стали и сечением отливаемой заготовки, а также в возможности выбора сечения прокатной заготовки, формируемого проходным радиальным обжатием. Выбор сечения заготовки и построение маршрутов прокатки десятиклетевых блока выполнены на кафедре ОМД УГТУ.

За счет управляемого регуляторами расхода индивидуального гидропривода всех клетей прокатного блока проблемы скоростного согласования блока с другими агрегатами модуля решаются достаточно просто. Блок адаптируется практически к любому маршруту прокатки и любой системе кантовок.

При технологическом проектировании целесообразно задаваться темпом разливки металла, сечениями отливаемой заготовки и готового катаного профиля и температурой металла на выходе из чистовой клетки прокатного блока. В результате процедуры рационального выбора

Сортамент стальных профилей для прокатного блока

Наименование продукции	ГОСТ, ТУ	Вид поставки	Годовой объем производства, т	Марки стали
Сталь круглая, диам.6-20 мм	2590-88	Прутки длиной от 3 до 20 м	2000	Углеродистые, низколегированные, легированные стали по ГОСТ 380-88, 1050-74, 4543-71, 5632-72
Сталь квадратная со стороной квадрата от 8 до 20 мм	2591-88	То же	2000	То же
Сталь шестигранная с диаметром вписанного круга от 8 до 20 мм	2578-88	Прутки длиной от 2 до 6 м	1500	—"
Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций № 6-20	5781-82	Стержни длиной от 6 до 12 м, бунты диам.1050 мм, массой 90-150 кг	4000	Углеродистая сталь по ГОСТ 380-88 и низколегированная по ГОСТ 5781-75
Сталь калиброванная круглая диам.6-20 мм	7417-75	Прутки длиной от 1,5 до 6,5 м	2000	Углеродистая и низколегированная сталь по ГОСТ 1050-74, 4542-71
Сталь калиброванная квадратная со стороной от 8 до 20 мм	2591-88	Прутки длиной от 2 до 6,5 м	2500	Сталь углеродистая и низколегированная по ГОСТ 380-88, 1050-74, 4543-71
Прокат калиброванный шестигранный с диаметром вписанного круга от 6 до 20 мм	2879-88	То же	1500	То же
Полоса стальная горячекатаная, размерами 4-6х11-60 мм	103-88	Полосы длиной от 3 до 10 м	1500	Углеродистая сталь обыкновенного качества по ГОСТ 380-88, 1050-74
Уголки стальные горячекатаные равнополочные № 2-4,5	8509-86	Уголок прямой длиной от 4 до 12 м	900	То же
Проволока-катанка диам.5,5-8 мм	5663-79	Профили прямые длиной от 2 до 6 м	100	—"
Проволока-катанка диам.5,5-8 мм	5663-79	Бунты диам.1050 мм, массой до 150 кг	1000	Углеродистые, низколегированные и легированные стали по ГОСТ 380-88, 1050-74, 4543-71, 5632-72
Итого			20000	

системы калибров и расчета калибровки определяются размеры сечения прокатной заготовки, средняя температура и допустимый по условиям уширения металла в калибрах градиент температуры по длине ковальной полосы в каждом цикле вытягивания иковки литой заготовки.

На основании этих данных рассчитываются параметры радиальнойковки, проектируется ковочный инструмент и определяется скоростной режим радиального обжатия в каждом цикле, обеспечивающий требуемую температуру заготовки для прокатки. При назначении температурно-скоростного режима проходнойковки используется возможность воздействия на уровень температуры заготовки за счет изменения длины петли, интенсивности охлаждения слитка в зоне вторичного охлаждения УНРС и его подогрева в зоне температурной стабилизации. Если перечисленных возможностей воздействия на температуру заготовки недостаточно, то формируется задание на изменение калибровки и режимов прокатки. Результатом технологического проектирования является алгоритм автоматического управления в согласованном режиме технологическим процессом получения горячекатаных профилей, на основании которого выполняется программирование контроллеров АСУ комплекса оборудования модуля.

Особенности технологического проектирования для подобного непрерывного комплекса определены необходимостью жесткого скоростного согласования всех последовательно установленных агрегатов и совместного решения тепловых задач непрерывной разливки, проходной радиальнойковки и непрерывной прокатки.

Основным технологическим требованием для непрерывной прокатки является соблюдение строгого согласования скоростей прокатки в каждой клетке, исходя из условия постоянства секундных объемов металла. В связи с этим электропривод или гидропривод непрерывных станов должен удовлетворять следующим условиям:

- точному поддержанию заданного соотношения скоростей на холостом ходу и при нагрузке;
- возможности плавного регулирования скорости в широких пределах;
- возможности пуска и остановки привода всего стана и отдельных клеток (последнее необходимо при ремонте и наладке, а также в аварийных случаях).

Использование гидропривода прокатных валков во всех клетках как чистового, так и калибровочного блоков, не нарушает традиционных принципов регулирования и способов скоростного согласования приводов. Регулирование может быть двух типов: электрическое или гидравлическое. Электрическое управление скоростью привода прокатных валков применяется и при использовании гидропривода, если гидромоторы одной клетки питаются от индивидуальной насосной установки, приводимой от электромотора. Механическая характеристика электропривода такой насосной станции становится характеристикой и гидропривода. В этом случае управление скоростью клетки выполняется за счет изменения скорости электромотора, поскольку последняя однозначно определяет расход жидкости высокого давления, подаваемой в гидромоторы рассматриваемой клетки.

Гидравлическое управление скоростью валков и согласование клеток имеет место при объединении всех насосных станций в одну с применением напорного коллектора или при установке одного насоса с достаточно большим расходом. Тогда условия работы каждого конкретного гидропривода не влияют на расход и давление в напорной магистрали групповой насосной станции. В этом случае имеет место гидропривод с бесконечно большим расходом.

Механическая характеристика каждого гидромотора при отсутствии утечек в напорной линии является жесткой, и качественное управление скоростью осуществимо с помощью регуляторов расхода, устанавливаемых либо в напорной, либо в сливной магистралях привода. Гидравлическое регулирование скорости обладает неоспоримым достоинством — возможностью построения низкоточных цепей контуров регулирования без привлечения громоздких и дорогих тиристорных или частотных преобразователей и генератор-двигательных установок. Однако насосных систем с практически бесконечным расходом не существует, а завышение расхода всегда связано с дополнительными и неоправданными затратами. Практически трудно иметь конструкцию гидравлической арматуры и гидроприводов, полностью лишенную утечек рабочей жидкости; любые несанкционированные изменения расхода или его нестабильность снижают жесткость механической характеристики привода и нарушают соответствие между настройкой регулятора расхода и скоростью гидромотора, в напорной линии которого установлен этот регулятор.

При гидравлическом согласовании скоростей валков прокатных блоков реальный расход рассматривается как источник информации о скорости валков в конкретной клетке и используется в системе управления для организации контура обратной связи. Если расходомер ИРi (рис.3) установлен в сливной магистрали, то при замере скорости гидромоторов M_{ji} учитываются потери расхода в дренаже, связанные с утечками.

Учитывая высокую стоимость любого варианта электрического управления скоростью прокатки, следует отдать предпочтение гидравлическому управлению, предусмотрев при проектировании построение насосной станции с достаточно большим расходом (объединив все локальные насосные станции в единую систему). Возможный вариант гидравлического регулирования скорости прокатки в i -й клетки показан на рис.3. Насос НС представляет объединенную коллекторами насосную станцию с большим расходом. Привод валков как чистового, так и калибровочного блока осуществляется гидромоторами $M_i^1, M_i^2, M_i^3, M_i^4$, подача и слив рабочей жидкости которых выполняется через делители $ДП_i^1, ДП_i^2, ДП_i^3$ и сумматоры $СП_i^1, СП_i^2, СП_i^3$ потока. Требуемое давление, определяемое моментом прокатки, поддерживается в напорной магистрали редукционным клапаном KP_i^2 . Расход жидкости через все гидромоторы привода валков и, следовательно, скорость прокатки изменяются регуляторами расхода $РР_i^1$ и (или) $РР_i^2$ с гидравлическим управлением от редукционного клапана KP_i^1 . Золотник KP_i^1 приводится шаговым гидромотором $ГМШ_i$; с управлением от контроллера системы автоматического управления комплекса. Задание на поддержание скоростей прокатки в каждой клетке блоков формируется на основе режима вытяжек, принятого для выбранной калибровки.

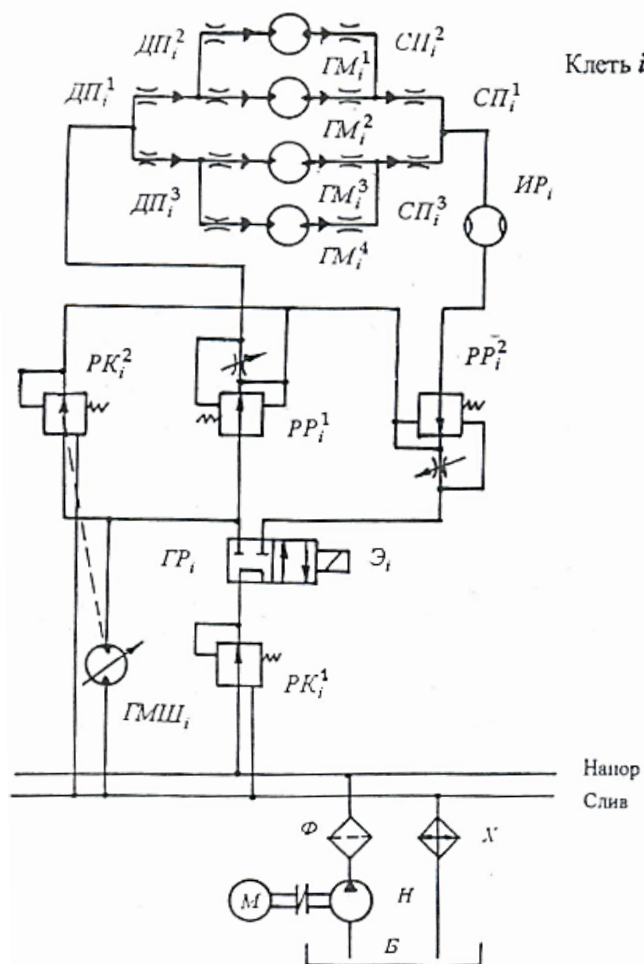


Рис.3. Схема гидропривода i -й клетки непрерывного прокатного блока:

M — электропривод насосной станции; H — насосная станция; $ИР$ — измеритель расхода; $Э$ — электромагнит гидрораспределителя; $ГМШ$ — гидромотор шаговый

При задаче полосы в валки прокатных блоков момент прокатки возрастает, и степень рассогласованности скоростей валков будет определяться жесткостью механической характеристики привода. С применением в гидросистеме регуляторов расхода и общей напорной линии достаточно большого расхода гарантировано сохранение скоростной настройки блока. Согласованное изменение скорости прокатки в блоке, связанное с возможным изменением темпа разливки при прессовании осуществляется либо общим для всего блока регулятором расхода (на схеме не показан), либо одновременным изменением настройки всех $РР$ в блоке. Последнее возможно при использовании автоматической системы управления, построенной на базе серийного контроллера. Программирование контроллера выполняется на основе расчета скоростного режима, назначенного при проектировании калибровок прокатных валков. Система автоматического управления использует информацию о реальной скорости вращения валков всех клеток, поступающую с измерителей расхода $ИР_j$ (см.рис.3).

Станина блока выполнена цельносварной секционированной. В каждой секции установлены седла для укладки в них поворотных цапф корпусов клеток. Через седло, замыкаемое крышкой, организуется гидроподвод как системы подачи и слива рабочей жидкости, так и системы охлаждения. Гидропривод не нарушается и не перенастраивается при развороте любой клетки по отношению к оси прокатки.

Двухвалковые клетки выполняются однокорпусными. Валки с подшипниковыми узлами устанавливаются в параллельные расточки корпуса и монтируются в эксцентрично установленных

поворотных подушках с ручным червячным приводом. В качестве валков используются твердосплавные или стальные кольца, зажимаемые между стяжными цапфами подшипниковых узлов. Для привода валков устанавливается по два гидромотора с редукторами, закрепленными на подушках.

Осевая регулировка валков осуществляется винтами посредством смещения подушек в расточках корпуса клетки, а регулировка зазора между бочками валков — поворотом эксцентриковых подушек. Проводковые устройства закрепляются в осевых расточках корпуса с возможностью осевой и угловой настройки относительно калибра валков.

Замкнутая система водяного охлаждения охватывает рабочие валки и проводковые устройства. При этом вода поступает через цапфы подшипниковых узлов и проходит внутри рабочего валка, охлаждая подшипники и внутреннюю поверхность валка. Система водяного охлаждения валков и арматуры клеток может быть включена в общую систему оборотного водоснабжения комплекса, а может иметь индивидуальную насосную станцию прокатного блока.

Прокатные клетки дуо-250 и дуо-2(Ю) имеют одинаковую конструкцию и способ закрепления в станине.

Управляющая гидравлическая аппаратура монтируется на корпусе соответствующей клетки и включает в себя делители потока, регуляторы расхода и расходомеры. Гидрораспределительная и предохранительная аппаратура монтируется на гидропанели прокатного блока.

Предусмотрено перевалку прокатного блока проводить клетями, а замену валков и проводок — на специальном стенде участка настройки клеток. Настройка межвалковых зазоров, осевая регулировка валков, настройка входных и выходных проводок выполняются также на стенде. Клеть устанавливается в станину полностью настроенной. Настройка прокатного блока после переделки сводится к установке требуемого чередования клеток (осевой разворот клеток по предписанной калибровкой углам) и скоростной настройке блока по расчетному режиму вытяжек. Уточнение вытяжек проводится после сборки и настройки клеток путем проведения контрольной прокатки и обмера образцов; при этом вытяжка в i -й клетки определяется как отношение ω_{i-1}/ω_i (где ω — площадь поперечного сечения полосы на выходе i -й клетки). Скорость прокатки в блоке вводится, исходя из требуемой по условию согласования с непрерывной разливкой скорости входа кованой полосы в валки первой клетки:

$$V_0 = \frac{L_s}{T} \cdot \frac{\omega_k}{\omega_0},$$

где L_s — длина шага вытягивания заготовки из кристаллизатора; T — период цикла разливки;

ω_0 — площадь поперечного сечения литой заготовки; ω_k — площадь поперечного сечения кованой заготовки.

Скорость полосы на выходе i -й клетки:

$$V_i = V_0 \prod_{j=1}^i \lambda_j,$$

где λ_j — вытяжка в j -й клетки.

Частота вращения валков в i -й клетки $n_i = \frac{V_i}{\pi D_{ki}}$,

где $D_{ki} = D_{0i} - \frac{\omega_i}{H_{1i}}$ — катающий диаметр валков i -й клетки; D_{0i} — начальный диаметр валков

в i -й клетки; H_{1i} — высота калибра i -й клетки.

Настройка скоростного режима прокатки заключается в установке регуляторов расхода клеток в позицию, соответствующую частотам вращения валков n_i . Учитывая жесткость механической характеристики гидропривода клеток, практическая установка скорости n осуществляется на холостом ходу.

В качестве гидромоторов применяют либо машины аксиально-поршневого, либо роliko-лопастного типа соответствующей мощности. Принцип действия гидромотора роliko-лопастного типа подобен работе гидроповоротника, в котором за счет введения в конструкцию роlikов устраняется ограничение в угле поворота. Поэтому такой гидромотор можно рассматривать как гидроповоротник с неограниченным углом поворота. Кольцевой канал между ротором и статором-корпусом разделен роliками-разделителями на четыре или шесть полостей, которые во время вращения ротора поочередно являются напорными или сливными. Поскольку диаметры роlikов-разделителей равны диаметрам делительных окружностей шестерен на концах роlikов, связывающих кинематически последних с валом ротора, то роliки во время работы гидромотора

катятся без проскальзывания по поверхности между зубцами ротора, замыкают зоны нагнетания и выдерживают высокое давление в этих зонах. Зубчатое зацепление замкнуто таким образом, что продольные пазы роликов-разделителей во время вращения роликов и ротора всегда совпадают в угловом положении с зубцами ротора. Это позволяет зубцам проходить через ролики без нарушения замкнутости рабочих полостей кольцевого канала. Две другие области канала всегда связаны со сливными торцовыми отверстиями, которые через сверление в корпусе распределительного блока мотора выведены в общую сливную магистраль. Возникающий крутящий момент равен давлению жидкости, умноженному на площадь поперечного сечения и средний диаметр кольцевого канала. Возникающий крутящий момент при фиксированных конструктивных параметрах мотора зависит от разности давлений в напорной и сливной магистралях, а скорость вращения ротора определяется расходом рабочей жидкости в единицу времени.

Достоинствами мотора ролик-лопастного типа в сравнении с поршневым следует считать отсутствие трущихся частей в корпусе мотора и связанный с этим большой срок службы привода без потери паспортных характеристик.

Наиболее пригодными для целей согласования скоростей валков считаются делители и сумматоры потоков модели КД. В состоянии поставки эти аппараты имеют три настройки соотношений потоков при делении и суммировании за счет смены входных дросселей. При широком сорimente профилей, когда настройка всего прокатного блока осуществляется каскадной схемой включения делителей, под каждую схему прокатки готовится свой набор дроссельных шайб и необходимость в регуляторах расхода полностью отпадает.

Наибольшую точность деления и суммирования потоков обеспечивают двухпоточные делители и сумматоры. При их расчете давления в более нагруженном отводе делителя p_{\max} и менее нагруженном подводе сумматора p_{\min} являются опорными. Расходы жидкости в отводах делителя без учета погрешности деления с достаточной для практики точностью определяются по формуле:

$$q = \mu f \sqrt{\frac{2q}{\gamma} (p_o - p_{\max})},$$

где p_o — давление жидкости на входе делителя или на выходе сумматора; μ — динамическая вязкость рабочей жидкости; f — площадь проходного сечения входного дросселя; γ — удельная масса жидкости; q — ускорение свободного падения.

Расход жидкости в подводах сумматора определяется аналогично:

$$q = \mu f \sqrt{\frac{2q}{\gamma} (p_{\min} - p_o)}.$$

Зависимость динамической вязкости минерального масла от температуры с достаточной точностью определяется по формуле

$$\mu = \mu_{20} \left(\frac{20}{t} \right)^k,$$

где μ_{20} — вязкость масла при температуре 20 °С; t — рабочая температура масла; k — коэффициент, характеризующий вязкость масла.

Точность деления потока $Q = q_1 + q_2$ при использовании дросселей в виде диафрагм составляет

$$\xi = \frac{2\mu^2 f^2 q \Delta p}{\gamma Q q_2},$$

где $\Delta p = p_2 - p_1$ (при $p_2 > p_1$) — разность давлений в отводах делителя; q_2 — расход жидкости в более нагруженном отводе.

Для увеличения точности согласования скоростей валков в клетях целесообразно одновременное применение делителей и сумматоров потока, как это показано на рис.3.

В общей схеме питания приводов непрерывного блока более высокое качество скоростного согласования достигается при каскадной схеме включения делителей потоков вместо регуляторов расхода. Однако в этом случае время переналадки блока при переходе на другой типоразмер проката удлиняется из-за необходимости замены комплекта дроссельных шайб делителей и сумматоров. При использовании же регуляторов расхода на каждой клетке настройка скоростного режима блока осуществляется автоматически от центрального коллектора.

Первый опыт промышленного использования прокатных клетей небольшой мощности (до 120 кВт) при производстве сортовой и полосовой стали, а также при теплой и холодной

калибровке квадратной стали признан положительным. Малая металлоемкость и компактность прокатного оборудования, быстрая переналадка, простота управления скоростью прокатки очевидны и обеспечивают перспективность этому виду привода валков.

Анализ работы многопоточных делителей и сумматоров потоков показал, что имеется практическая возможность отказаться от шестеренных клеток в линиях приводов многих прокатных клеток.

Прокатные и калибровочные непрерывные блоки с гидроприводом приобретают уникальные технологические свойства и становятся единственно пригодными агрегатами получения сортовых и полосовых профилей на широкоассортиментных литейно-деформационных модулях в малотоннажном производстве.

В развитии техники и технологии прокатки на непрерывных гидроприводных блоках наибольший интерес представляет открывшаяся возможность автосогласования клеток и валков в случае неуправляемого подвода рабочей жидкости от коллектора к гидромоторам привода каждого валка. При фиксированном общем расходе жидкости моменты прокатки (т.е. давление во всех параллельных линиях гидропривода) устанавливаются в блоке на уровне, при котором общая потребляемая на прокатку мощность минимальна. Эта ситуация возможна при правильном подборе гидросопротивлений в линиях подвода рабочей жидкости к гидромоторам. Математическая модель гидропривода непрерывного прокатного стана позволяет рационально установить комплект регулируемых дросселей в цепях гидропитания приводов и рассчитать оптимальный вариант их настройки. Прокатный непрерывный блок с автосогласованием должен иметь две подсистемы питания: подсистему жесткого согласования, используемую при запуске блока, и подсистему неуправляемого автосогласования, к которой гидроприводы присоединяются при достижении стационарного режима прокатки.